

УДК 629.4.015+017.7

*П.О. Хозя, Ю.Я. Водянніков, А.І. Бондар, А.О. Сулим, А.Є. Можейко,
І.М. Лашкевич, І.І. Федорак*

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУНКЕРНИХ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА

Представлені результати дослідження впливу зміщення вантажу в бункерних вагонах-хоперах для перевезення зерна на їхні експлуатаційні характеристики. Перевірка 46 вагонів-зерновозів показала, що різниця вертикальних сил, які діють на візки, може становити від 7 тс до 14 тс. Показано, що перерозподіл вантажу зумовлює зростання силового впливу на перевантажений візок: осьове навантаження збільшується до 27-30,5 тс; динамічна вертикальна сила - до 20 %; динамічне погонне навантаження на рейку - до 22 %; бічні рамні сили на візок - до 30 %, зміщення центра ваги вантажу уздовж вагона становить від 0,35 м до 0,7 м. При різниці вертикальних сил від 10 тс і більше між візками не виконується умова щодо недопущення юза для швидкостей руху менше за 40 км/год.

Для перевезення різних вантажів все більшого поширення набувають спеціалізовані вагони, до яких, в першу чергу відносяться бункерні вагони-хопери.

Відмінною особливістю бункерних вагонів є наявність у підвагонному просторі бункерів з люками, що дозволяють автоматизувати розвантаження вагонів. В даний час в експлуатації знаходиться близько двадцяти моделей вагонів бункерних вагонів-хоперів для сипких вантажів.

Особливе місце в парку бункерних вагонів займають вагони для перевезення зерна (зерновози). Вагони призначені для перевезення зернових культур та інших сипучих вантажів, що вимагають захисту від атмосферних опадів, із навантаженням через верхні люки і гравітаційним розвантаженням через нижні розвантажувальні люки в міжрейковий простір на спеціальних навантажувальних і розвантажувальних пристроях.

В останні роки були створені зерновози нового покоління, які конструктивно відрізняються від типових вагонів попередніх поколінь (рис.1, 2) і характеризуються поліпшеними техніко-економічними показниками (табл. 1).

*© Хозя П.О., Водянніков Ю.Я., Бондар А.І., Сулим А.О.,
Можейко А.Є., Лашкевич І.М., Федорак І.І., 2019*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



Рисунок 1 – Зерновоз нового покоління моделі 19-7053-02 (КВБЗ)



Рисунок 2 – Зерновоз моделі 19-739

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1. Порівняльні техніко-економічні характеристики зерновозів

Найменування	Модель 19-7053-02	Модель 11-739
Вантажопідйомність	70,2 т	65 т
об'єм кузова	116 м ³	93 м ³
маса вагона	23,5 т	22,7 т
Розрахункове навантаження від колісної пари на рейку	230,5 (23,5) кН (тс)	219,3 кН
Кількість люків:		
завантажувальних	5 шт.	4 шт.
розвантажувальних	3 шт.	6шт.
Ширина колії	1520 мм	1520 мм
Конструкційна швидкість	120 км/год	120 км/год
База вагона	10500 мм	10500 мм
Довжина по осях зчеплення	14720 мм	14720 мм
Строк служби	30 років	30 років

В той же час, останнім часом спостерігається таке явище, як нерівномірне розміщення вантажу відносно вертикальної площини симетрії, про що свідчать дані експлуатації зерновозів, а також результати перевірки розміщення вантажу на прикладі зерновоза моделі 19-6869 (рис. 3).

Такий перерозподіл вантажу обумовлює нерівномірне навантаження як на візки вагона, так і на торцеву стінку. Тільки за вересень 2018 року були затримані і виключені для подальшого проходження 46 вагонів зерновозів (техніко-економічні характеристики зерновозів наведені в додатку А, табл. А.1) через нерівномірне розподілення вантажу, причому різниця вертикальних сил між візками складала від 7 тс до 14 тс. Слід зазначити, що зважування проводилося як на динамічних (рис. 4), так і на статичних вагах (рис. 5).

Розрахунки методами математичної статистики [1] свідчать, що середнє значення перевантаження ΔP становить 9,19 тс, а стандартне відхилення - 1,98 тс. Найбільша кількість вагонів потрапляє в інтервал перевантаження $\Delta P = (7-9)$ тс (рис. 6) з ймовірністю 0,37 (рис. 7), при цьому основна маса вагонів розподіляється в інтервалі $\Delta P = (7-10)$ тс з ймовірністю 0,78 (див. рис. 7).

Зсув вантажу в вагоні зерновозі супроводжується:

Збільшенням осевого навантаження на колісних парах перевантажених візків до 27 тс/вісь при $\Delta P = +7$ тс до 30,5 тс/вісь при $\Delta P = +14$ тс і зниженням на недовантажених - до 20 тс/вісь при $\Delta P = -7$ тс до 16,5 тс/вісь при $\Delta P = -14$ тс (рис. 8);

Збільшенням навантаженості торцевої стіни на 20 % - 40 % (рис. 9);

Зміщенням центру ваги щодо вертикальної площини симетрії уздовж вагона на величину (0,35-0,7) м (рис. 10).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



Рисунок 3 – Результати перевірки розміщення вантажу в зерновозі моделі 19-6869

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

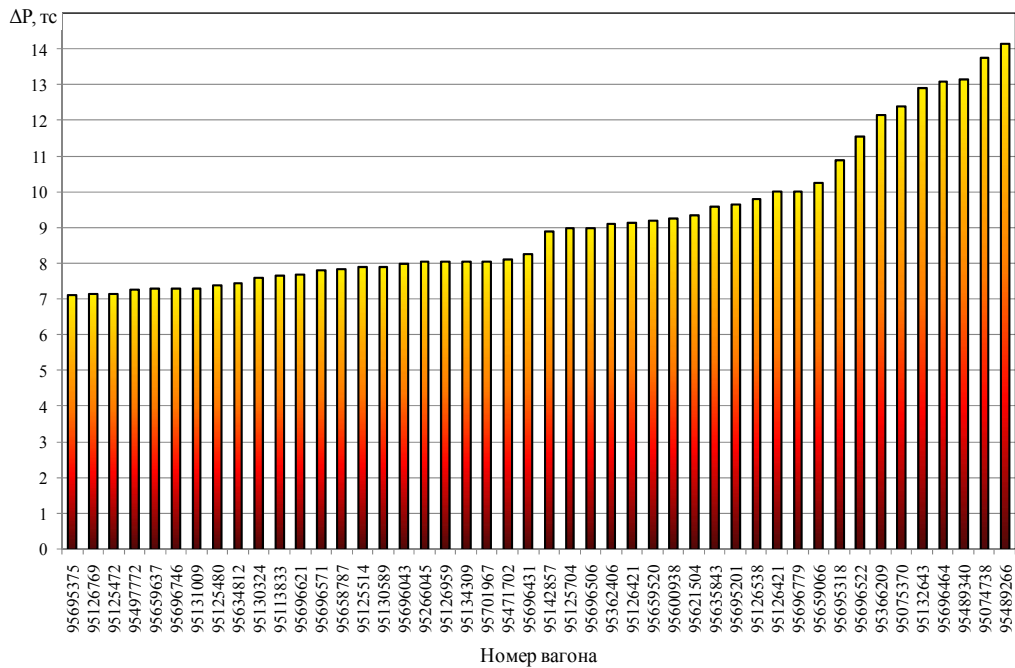


Рисунок 4 – Діаграма різниці сил навантажень (ΔP) між візками за результатами зважування на динамічних вагах

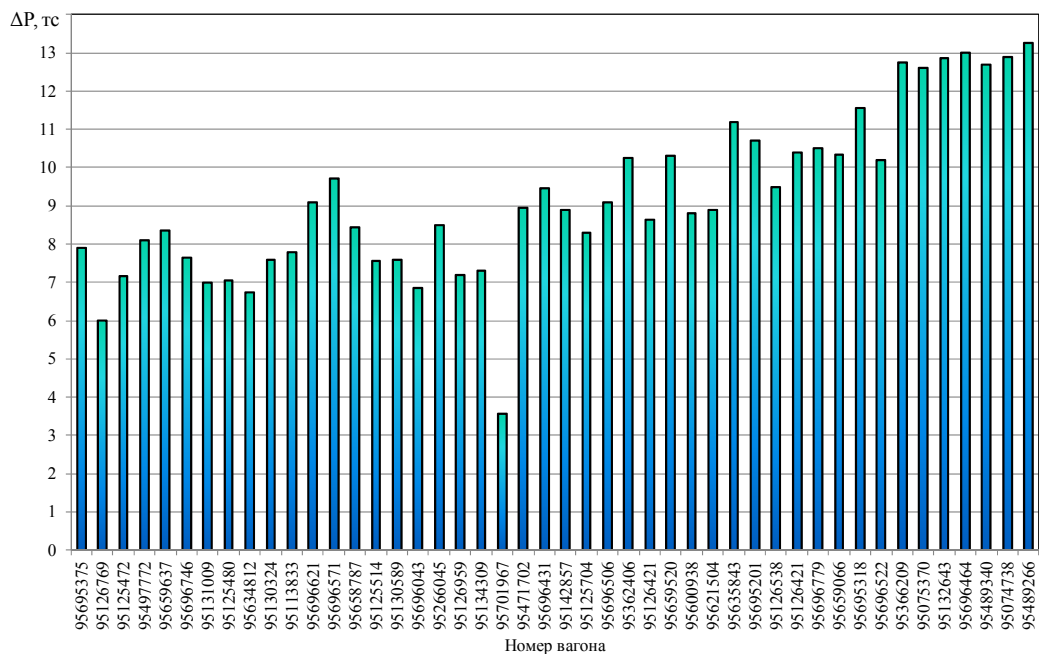


Рисунок 5 – Діаграма різниці сил навантажень (ΔP) між візками за результатами зважування на статичних вагах

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

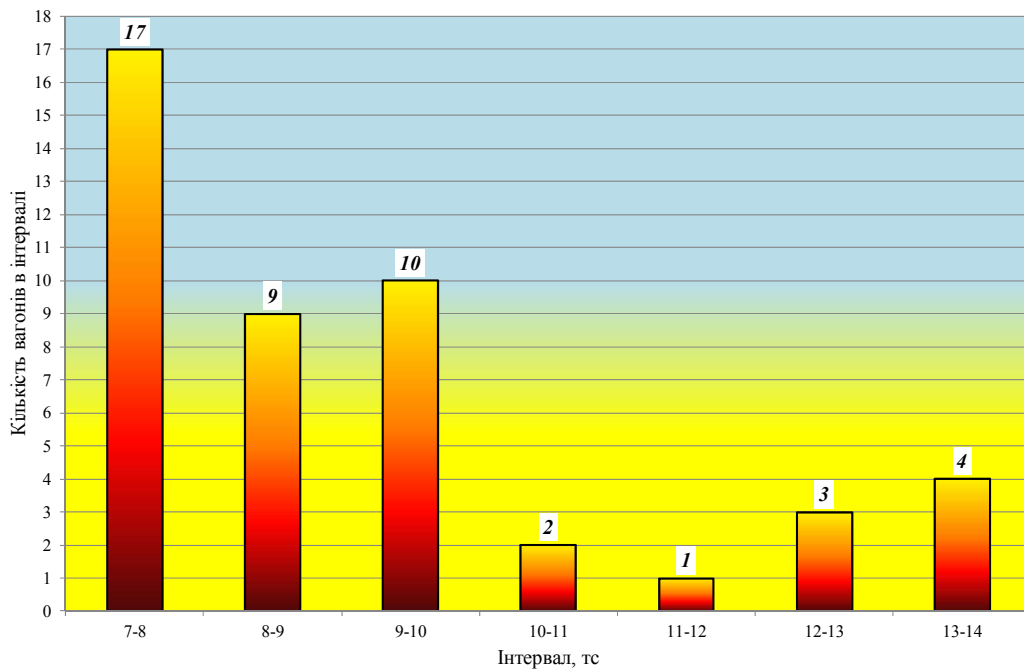


Рисунок 6 – Гістограма розподілу вагонів по інтервалах перевантаження (ΔP) між візками

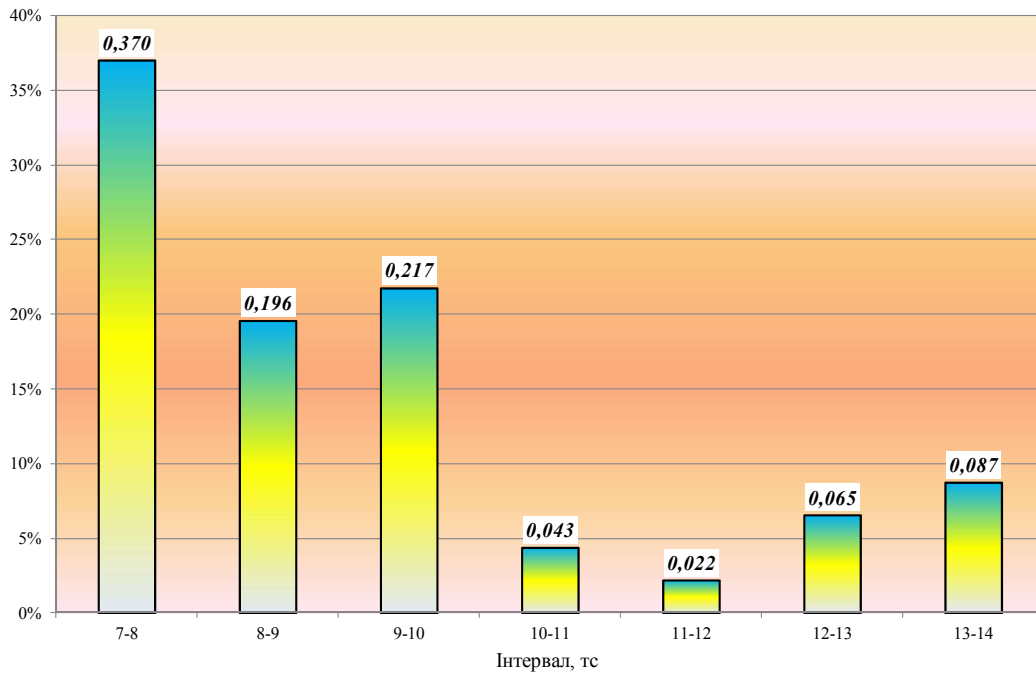


Рисунок 7 – Емпірична ймовірність розподілу вагонів по інтервалах перевантаження (ΔP)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

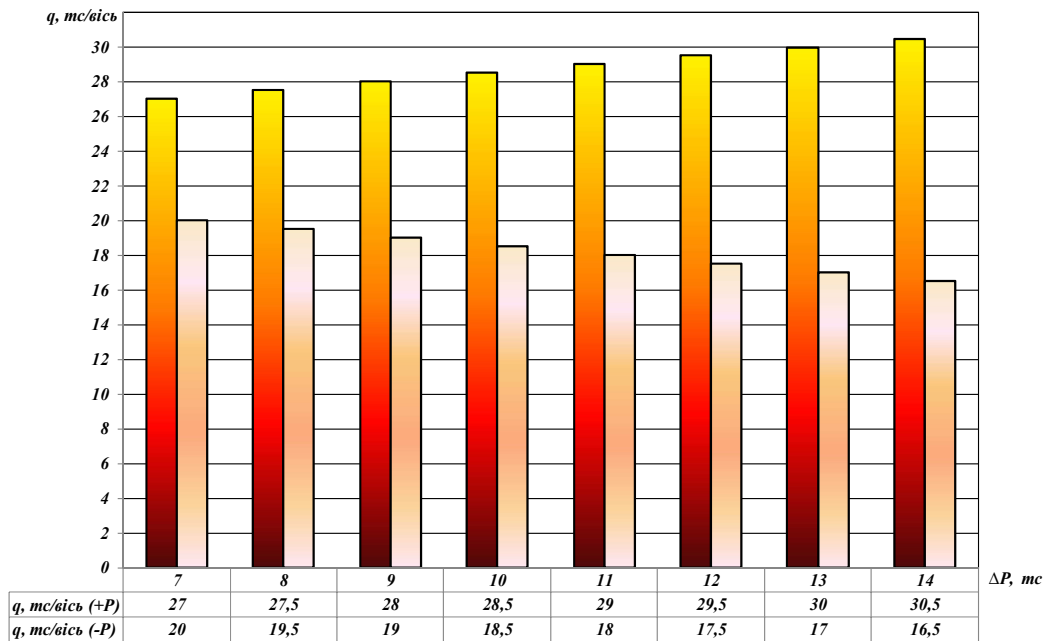


Рисунок 8 – Перерозподіл осевого навантаження колісних пар

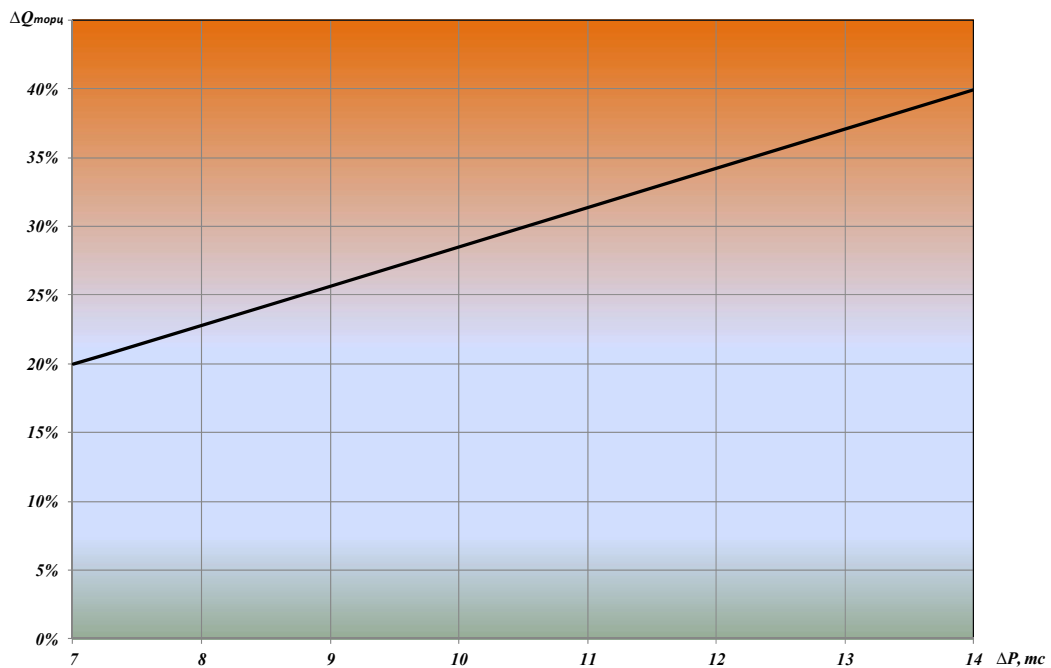


Рисунок 9 – Збільшення силового впливу на торцеву стінку зерновозу з боку перевантаженого візка

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

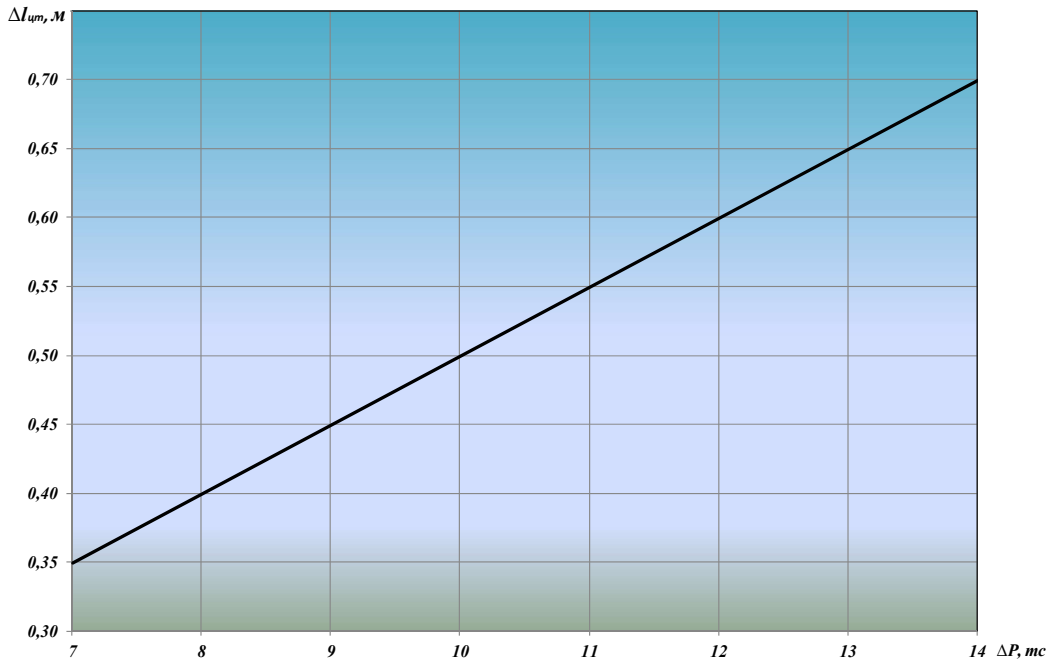


Рисунок 10 – Зсув центра ваги вантажу

Вплив зсуву вантажу в вагонах на динамічні і гальмівні характеристики

Коефіцієнт вертикальної динаміки і динамічні сили

Одним з основних чинників динамічного впливу на шлях є коефіцієнт вертикальної динаміки необресорених частин візків вантажного вагона, який визначається за формулою [2]:

$$K_{\text{дв}} = \frac{\overline{K_{\text{дв}}}}{\beta} \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \frac{1}{1 - P(K_{\text{дв}})}}, \quad (1)$$

де $\overline{K_{\text{дв}}}$ - середнє імовірне значення коефіцієнта вертикальної динаміки;

β - параметр розподілу, для вантажних вагонів $\beta = 1,13$;

$P(K_{\text{дв}})$ - імовірність розподілу коефіцієнта вертикальної динаміки, приймається рівним $P(K_{\text{дв}}) = 0,97$.

Середнє імовірне значення коефіцієнта вертикальної динаміки для швидкостей $V \geq 15$ м/с і $V \leq 15$ м/с визначаються відповідно за формулами (2) і (3) [2]:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$\bar{K}_{\partial\sigma} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot v \cdot \frac{V-15}{f_{cm}}; \quad (2)$$

$$\bar{K}_{\partial\sigma} = a \cdot \frac{V}{15}, \quad (3)$$

де $a=0,15$ (для необресорених частин візка);

v - коефіцієнт, який враховує вплив кількості осей, $v=1$;

V - розрахункова швидкість руху, м/с;

$f_{ст}$ - статичний прогин ресорних комплектів:

$$f_{cm} = \frac{P_{\partial p}}{G_p}, \quad (4)$$

тут $P_{\partial p}$ - вага брутто вагона, тс;

G_p - жорсткість ресорного комплекту візка, $G_p = 901,5$ тс/м.

Статичний прогин ресорних комплектів першого і другого візків з урахуванням вертикального додаткового навантаження визначається за формулами:

$$f_{cm,1} = \frac{P_{\partial p} / 2 + \Delta P}{n_1 \cdot g} \quad (5)$$

$$f_{cm,2} = \frac{P_{\partial p} / 2 - \Delta P}{n_1 \cdot g} \quad (6)$$

де $n_1=2$ – кількість осей на візку.

Розрахунок коефіцієнта динаміки виконаний для трьох варіантів: при мінімальному (рис. 11), середньому (рис. 12) і максимальному (рис. 13) значенні ΔP . Величина вертикального динамічного навантаження для найбільш навантаженого візка наведена на рис. 14, розвантаженого – на рис. 15.

Погонне динамічне навантаження на колію визначається за формулою [2]:

$$q_{дин} = \frac{n \cdot P_{oc}}{2 \cdot l_m + \Delta l} \cdot (1 + k_{\partial\sigma}), \quad (7)$$

де: $q_{дин}$ – середнє динамічне погонне навантаження на колію;

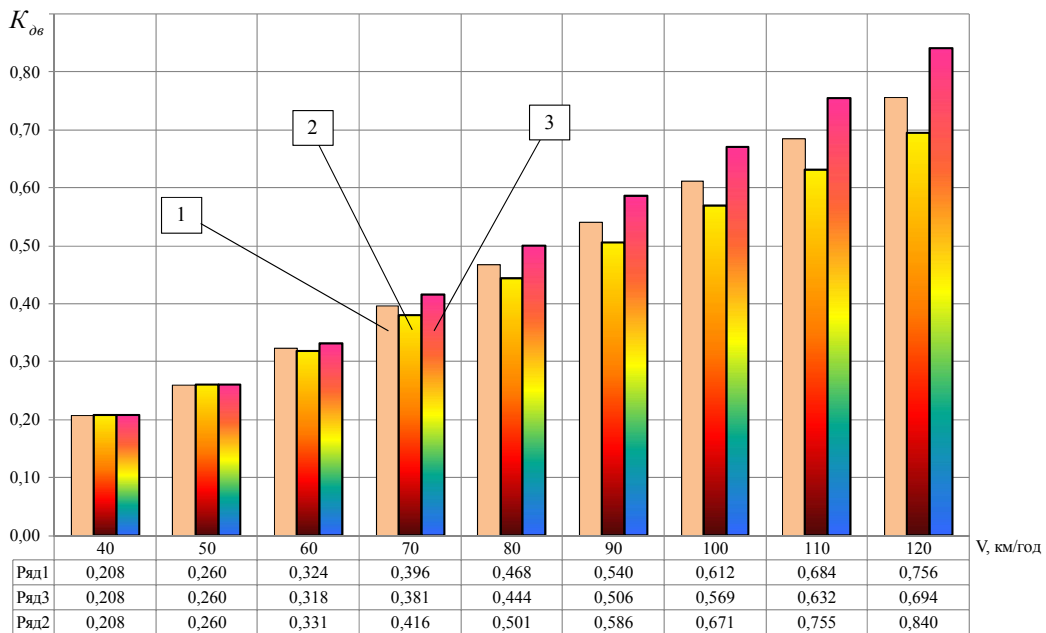
P_{oc} - статичне осьове навантаження вагона брутто;

n - кількість осей у візку, $n = 2$;

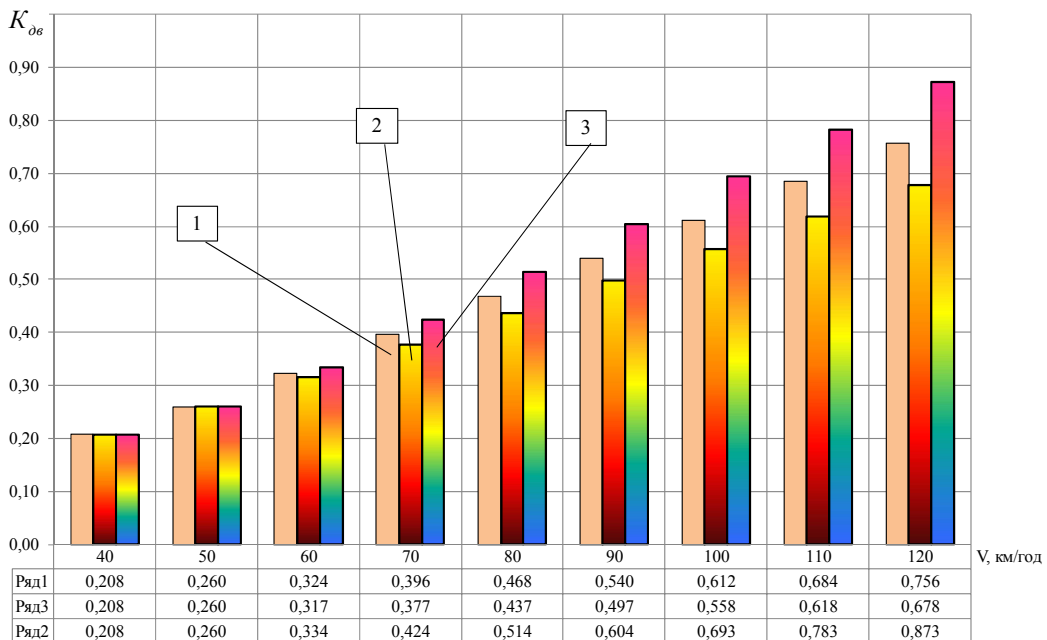
$2l_m$ - база візка, $2l_m = 1850$ мм;

$\Delta l = 2,2$ м – довжина загальної розрахункової зони впливу крайніх осей.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



**Рисунок 11 – Коефіцієнти вертикальної динаміки візків при $\Delta P_{\text{мінімальне}} = 7$ тс
(1 – рівномірний розподіл вантажу; 2 – перевантажений візок;
3 – недовантажений візок)**



**Рисунок 12 – Коефіцієнти вертикальної динаміки візків при $\Delta P_{\text{середнє}} = 9,18$ тс
(1 – рівномірний розподіл вантажу; 2 – перевантажений візок;
3 – недовантажений візок)**

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

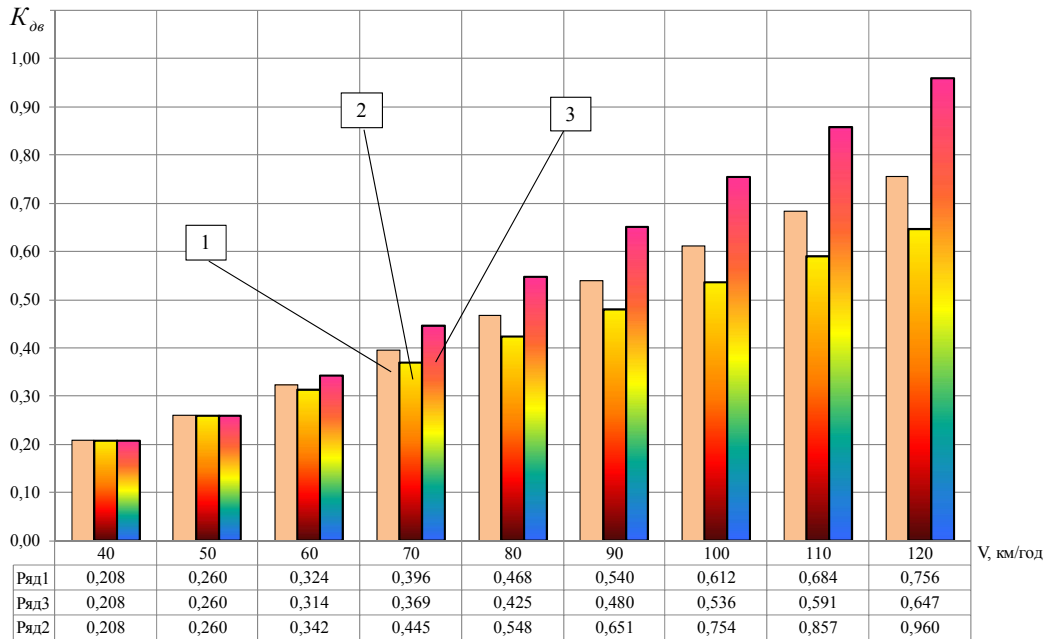


Рисунок 13 – Коефіцієнти вертикальної динаміки візків при $\Delta P_{\text{максимальне}} = 14$ тс (1 – рівномірний розподіл вантажу; 2 – перевантажений візок; 3 – недовантажений візок)

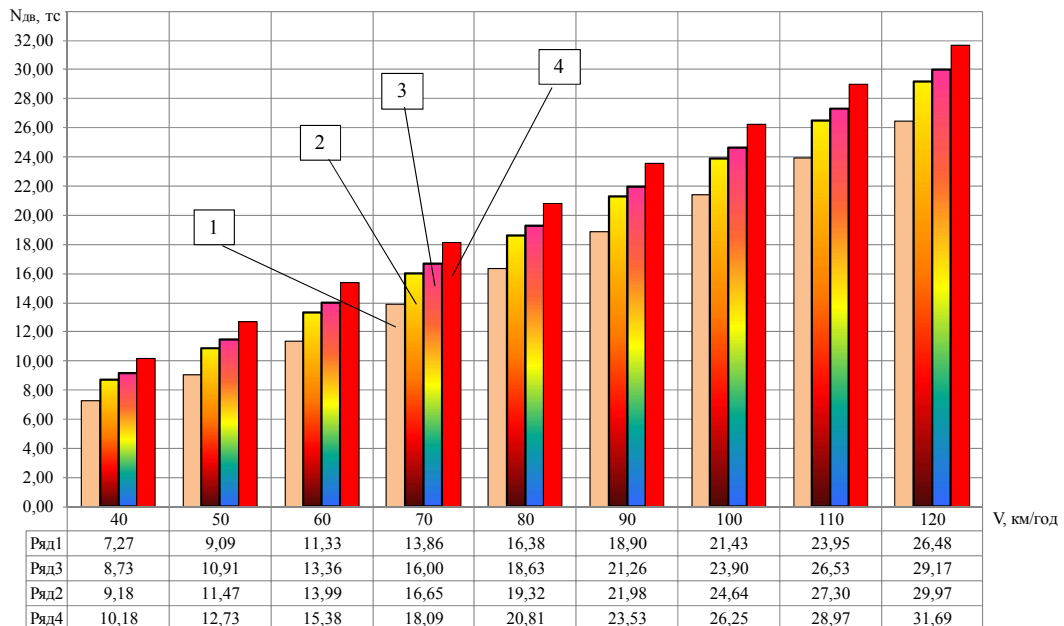


Рисунок 14 – Вертикальна динамічна сила, яка діє на перевантажений візок (1 – рівномірний розподіл вантажу; 2 – візок при $\Delta P_{\text{мінімальне}} = 7$ тс; 3 – візок при $\Delta P_{\text{середнє}} = 9,18$ тс; 4 – візок при $\Delta P_{\text{максимальне}} = 14$ тс)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

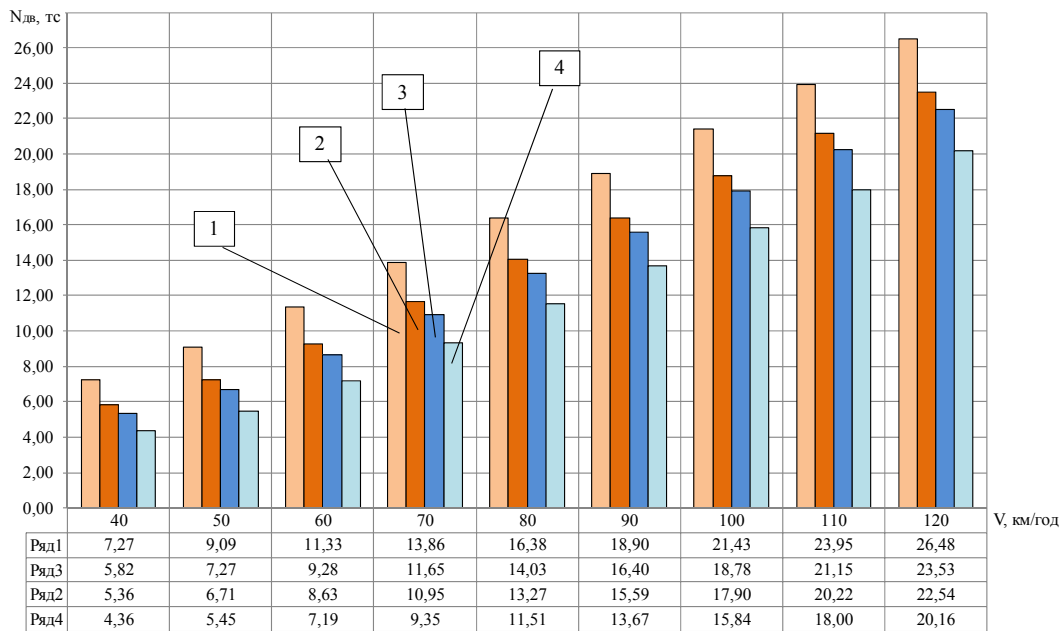


Рисунок 15 – Вертикальна динамічна сила, яка діє на недовантажений візок (1 – рівномірний розподіл вантажу; 2 – візок при $\Delta P_{\text{мінімальне}} = -7$ тс; 3 – візок при $\Delta P_{\text{середнє}} = -9,18$ тс; 4 – візок при $\Delta P_{\text{максимальне}} = -14$ тс)

На рисунку 16 наведено збільшення динамічної погонної сили на рейкову колію при перерозподілі вантажу в вагоні-зерновозі, а в таблиці 2 – розподіл значень динамічних погонних сил по візках.

Бокова рамна сила H_p , діюча від колісної пари на раму візка, визначається за формулою [1]:

$$H_p = \bar{H}_p \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \frac{1}{1 - P(H_p)}}, \quad (8)$$

де: $P(H_p) = 0,97$;

\bar{H}_p - середнє імовірне значення рамної сили, яке визначається за формулою:

$$\bar{H}_p = P_o \cdot b \cdot \delta \cdot (5 + V); \quad (9)$$

де: P_o – статичне осьове навантаження;

b - коефіцієнт, що враховує вплив кількості осей, $b = 1$;

δ - коефіцієнт, що враховує тип ходових частин вагона, $\delta = 0,003$;

V – швидкість руху вагона, м/с.

Значення бічних рамних сил, що діють від колісної пари на раму найбільш навантаженого візка, наведені в таблиці 3, свідчать про їх збільшення на 14,89% при перевантаженні 7 тс і на 29,79% при перевантаженні 14 тс.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

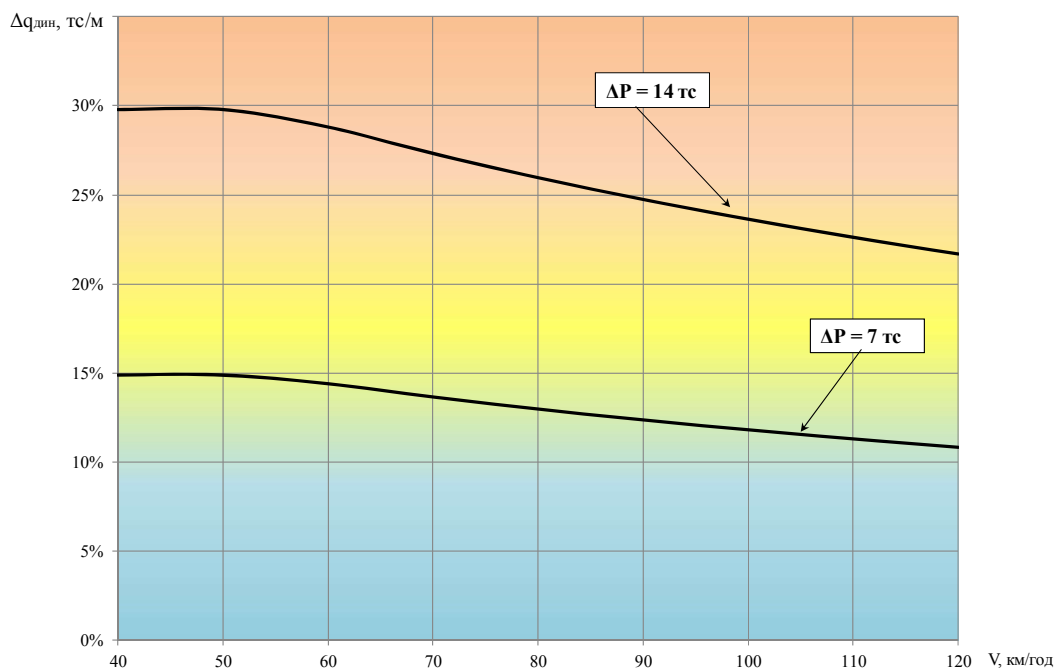


Рисунок 16– Збільшення динамічної погонної сили на рейкову колію при перерозподілі вантажу

Таблиця 2. Динамічне погонне навантаження вагона на залізничну колію

V, км/год	Динамічна погонна навантаження вагона, тс/м				
	ΔP=0	Візок ΔP= + 7 тс	Візок ΔP= - 7 тс	Візок ΔP= + 14 тс	Візок ΔP= -14 тс
40	14,02	16,10	11,93	18,19	9,84
50	14,62	16,80	12,44	18,97	10,26
60	15,36	17,57	13,15	19,79	10,94
70	16,20	18,41	13,99	20,62	11,78
80	17,04	19,25	14,82	21,46	12,61
90	17,87	20,08	15,66	22,30	13,45
100	18,71	20,92	16,50	23,13	14,29
110	19,55	21,76	17,34	23,97	15,13
120	20,38	22,59	18,18	24,80	15,97

Вплив розвантаження візка на пошкоджуваність поверхні коліс у вигляді повзунів при гальмуванні

Розвантаження одного з візків зменшує осьове навантаження колісної пари на рейку, що призводить до збільшення розрахункового гальмівного коефіцієнта, при цьому збільшується імовірність виникнення юза.

Для аналізу використовувалися результати гальмівних ходових випробувань [3] вагона для перевезення зерна моделі 19-7016 (рис. 17), характеристики якого аналогічні зерновозу моделі 19-7053-02

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 3. Бічні рамні сили, що діють на раму візка

V, км/год	Бічні рамні сили, тс		
	$\Delta P=0$	Візок $\Delta P= + 7$ тс	Візок $\Delta P= + 14$ тс
40	2,40	2,76	3,11
50	2,81	3,23	3,65
60	3,23	3,71	4,19
70	3,64	4,18	4,73
80	4,06	4,66	5,26
90	4,47	5,13	5,80
100	4,88	5,61	6,34
110	5,30	6,09	6,87
120	5,71	6,56	7,41



Рисунок 17 – Зерновоз моделі 19-7016

Проведені за методиками [1] розрахунки, свідчать, що при різниці вертикальних сил між візками більше ніж на 10 тс не виконується умова недопущення юза колісної пари для швидкостей руху менше за 40 км/год включно (рис. 18 - 25), де 1 - реалізований гальмівною системою коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою; 2 - допустимий, за умов недопущення юза, коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

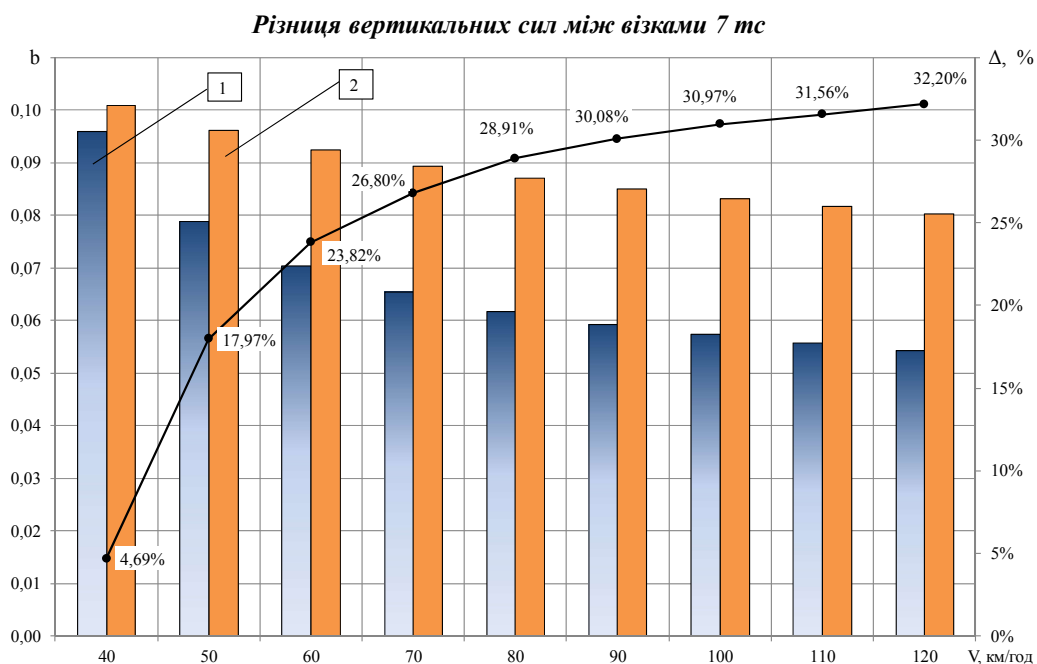


Рисунок 18 – Реалізований гальмівною системою коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою в порівнянні з допустимим, за умов недопущення юза, при різниці вертикальних сил між візками 7 тс, в діапазоні швидкостей

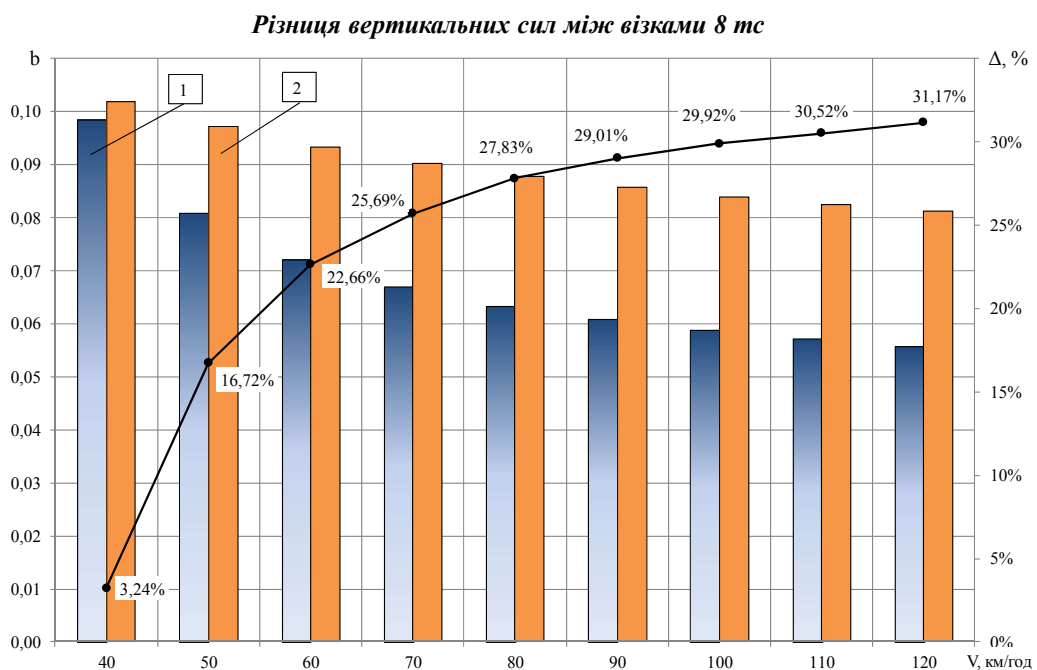


Рисунок 19 – Реалізований гальмівною системою коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою в порівнянні з допустимим, за умов недопущення юза, при різниці вертикальних сил між візками 8 тс, в діапазоні швидкостей



РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

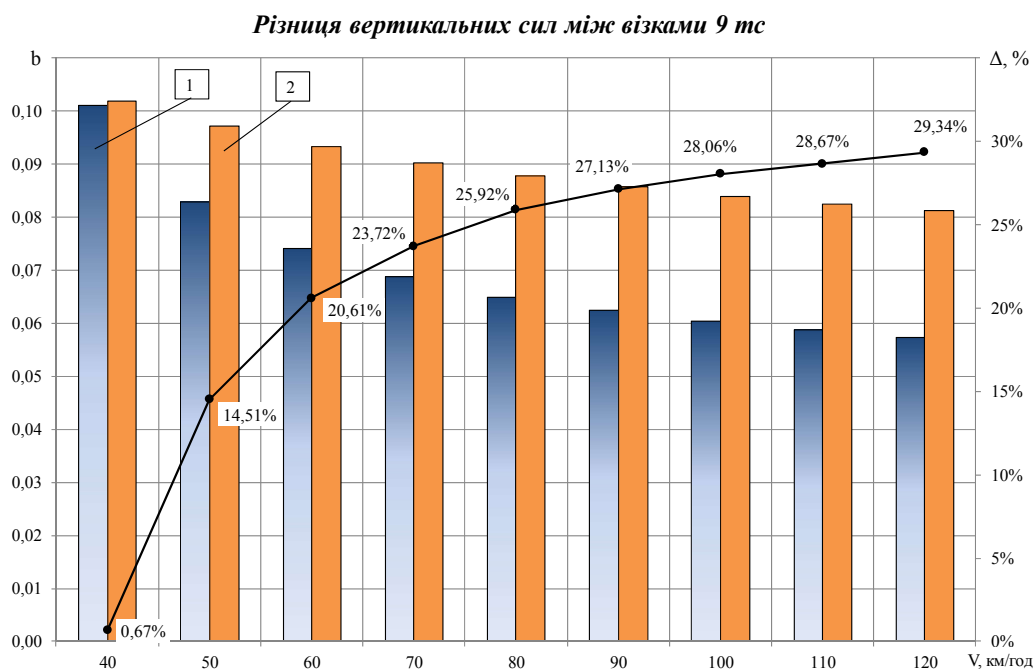


Рисунок 20 – Реалізований гальмівною системою коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою в порівнянні з допустимим, за умов недопущення юза, при різниці вертикальних сил між візками 9 тс, в діапазоні швидкостей

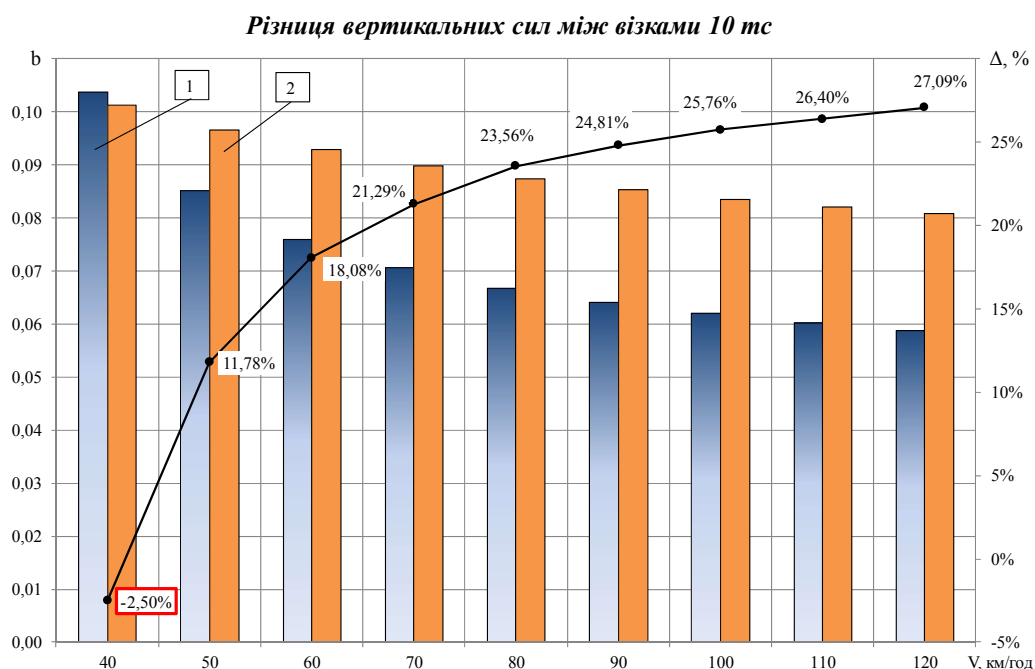


Рисунок 21 – Реалізований гальмівною системою коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою в порівнянні з допустимим, за умов недопущення юза, при різниці вертикальних сил між візками 10 тс, в діапазоні швидкостей



РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

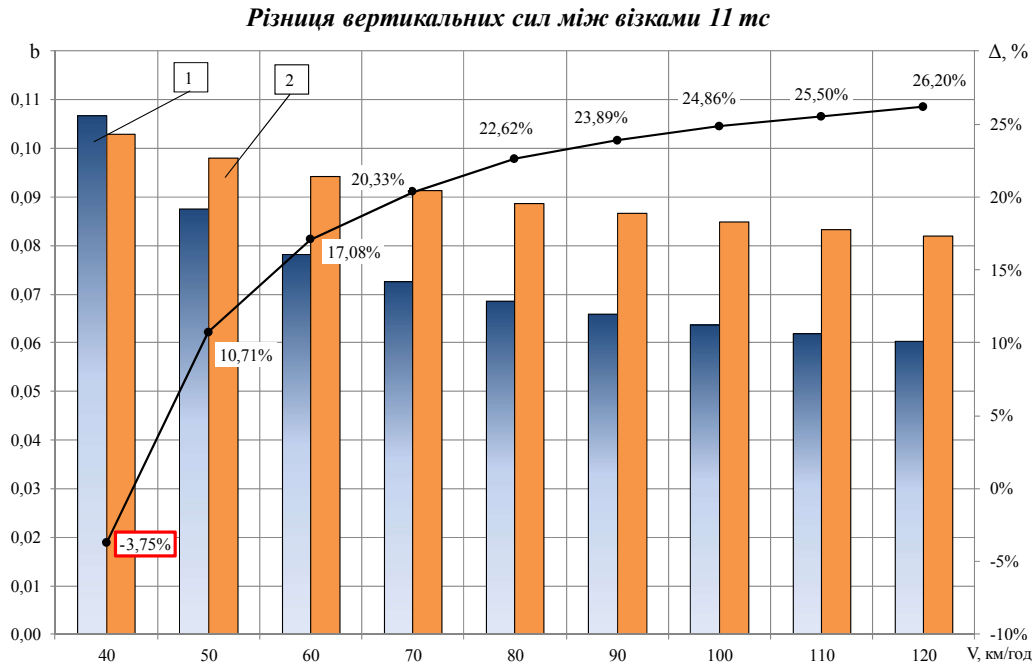


Рисунок 22 – Реалізований гальмівною системою коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою в порівнянні з допустимим, за умов недопущення юза, при різниці вертикальних сил між візками 11 тс, в діапазоні швидкостей

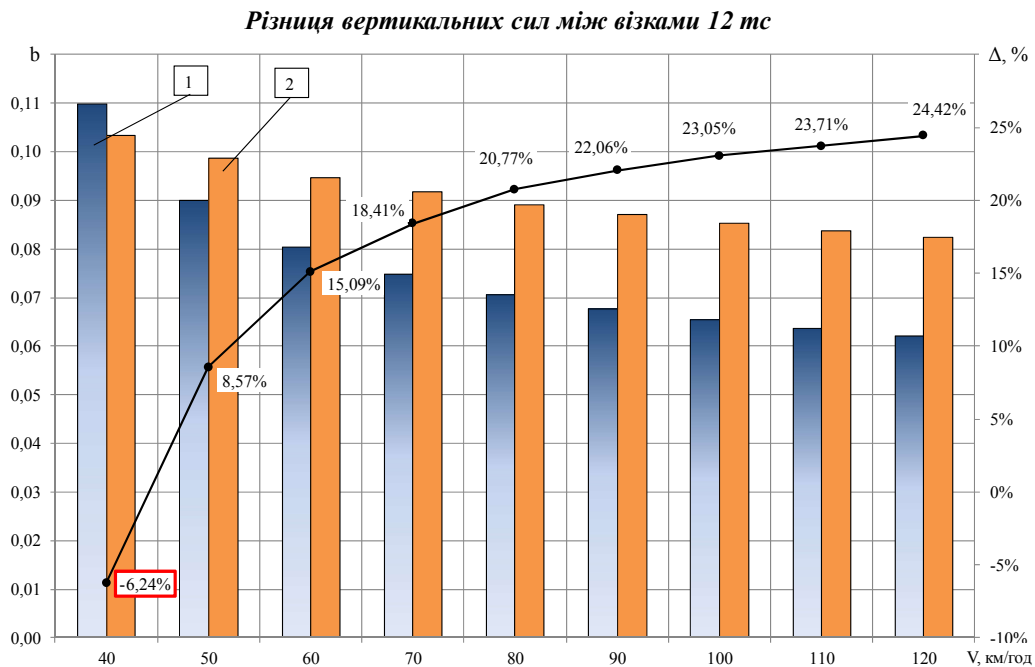


Рисунок 23 – Реалізований гальмівною системою коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою в порівнянні з допустимим, за умов недопущення юза, при різниці вертикальних сил між візками 12 тс, в діапазоні швидкостей



РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

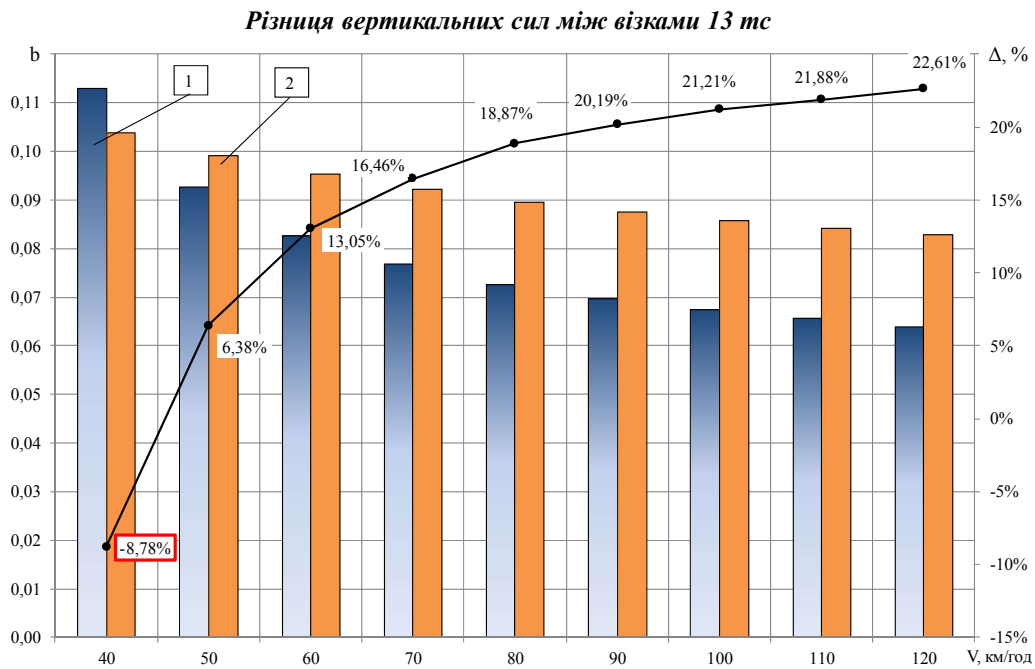


Рисунок 24 – Реалізований гальмівною системою коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою в порівнянні з допустимим, за умов недопущення юза, при різниці вертикальних сил між візками 13 тс, в діапазоні швидкостей

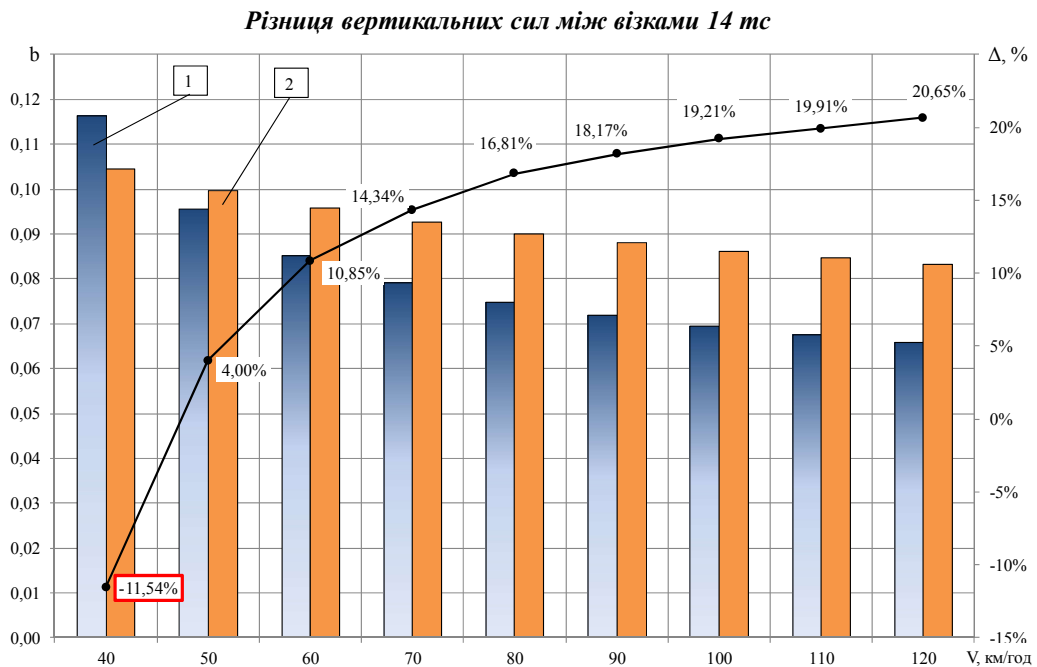


Рисунок 25 – Реалізований гальмівною системою коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою в порівнянні з допустимим, за умов недопущення юза, при різниці вертикальних сил між візками 14 тс, в діапазоні швидкостей



РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Підсумкові значення динамічних параметрів, обумовлених зміщенням вантажу, які діють на вагон, наведені в таблиці 4.

Таблиця 4. Підсумкові значення динамічних параметрів

Назва параметра	Рівномірне завантаження	Навантажений візок		Розвантажений візок		Відсоток невідповідності до рівномірного завантаження	
	$\Delta P = 0$	$\Delta P = 7$	$\Delta P = 14$	$\Delta P = -7$	$\Delta P = -14$	$\Delta P = 7$	$\Delta P = 14$
Навантаження на вісь, тс/вісь	23,5	27	30,5	20	16,5	-	-
Швидкість руху 90 км/год (максимальна допустима швидкість руху вантажних поїздів)							
Коефіцієнт вертикальної динаміки	0,540	0,506	0,480	0,586	0,651	8,47%	20,55%
Вертикальне динамічне навантаження, тс	18,904	21,265	23,534	16,403	13,673	12,49%	24,49%
Погонне динамічне навантаження на рейкову колію, тс/м	17,873	20,084	22,296	15,663	13,453	12,37%	24,75%
Рамна сила, що діє на боковину візка, тс	4,47	5,13	5,80	-	-	14,89%	29,79%
Швидкість руху 120 км/год (конструкційна)							
Коефіцієнт вертикальної динаміки	0,756	0,694	0,756	0,840	0,960	11,08%	26,90%
Вертикальне динамічне навантаження, тс	26,477	29,168	31,692	23,528	20,159	10,17%	19,70%
Погонне динамічне навантаження на рейкову колію, тс/м	20,384	22,593	24,803	18,176	15,970	10,84%	21,68%
Рамна сила, що діє на боковину візка, тс	5,710	6,561	7,411	-	-	14,89%	29,79%

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Зсув вантажу в вагонах-зерновозах негативно впливає на динаміку вагона і його міцність, за результатами розрахункових досліджень було встановлено:

1. Осьове навантаження залежно від перерозподілу вантажу на один візок збільшується до 27 - 30,5 тс/вісь;
2. Зсув центра ваги вантажу уздовж вагона становить 0,35-0,7 м;
3. Коефіцієнт вертикальної динаміки збільшується на (11-27)% порівняно з рівномірним розподілом;
4. Вертикальне динамічне навантаження збільшується на (10-20) %;
5. Погонний динамічний вплив на рейкову колію збільшується на (11-22) %;
6. Рамна сила на боковину візка з боку колісної пари збільшується на (15-30) %.

Викладена у статті проблема свідчить, що:

- ✓ Вилучення вагонів з експлуатації тільки за вересень 2018 року склало 46 одиниць, що обумовлює значні економічні втрати;
- ✓ Значно збільшується навантаженість окремих елементів вагонів, що призводить до їх підвищеного зносу, а значить зменшує їх ресурс та, як наслідок, погіршується безпека руху.

Висновок

Основною причиною зсуву вантажу, який може посилюватися при проходженні вагоном сортувальних гірок, є порушення правил завантаження вагона (Лист ПАТ «УКРАЇНЬСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ» № ЦЦО-13/1054 від 28.09.2018).

На нашу думку, необхідно провести комплекс експериментальних досліджень для оцінки впливу зміщення вантажу на динаміко-міцнісні якості вагонів та його вплив на залізничну колію (такі дослідження до теперішнього часу не проводилися), а також розробити заходи щодо контролю дотримання правил завантаження зерновозів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учеб. пособие. – 11-е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2006. - 404 с. (Основы наук);
2. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). ДП «УкрНДНЦ», Київ, 2017. -157 с.;
3. Протокол № 623 від «20» жовтня 2006 р. попередніх поїзних гальмівних випробувань вагона для сипких вантажів моделі 19–7016 на візках моделі 18–7020. ДП «УкрНДІВ», Кременчук, 2006. - 33 с.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Додаток А

Таблиця А.1. Техніко-економічні характеристики зерновозів

Зерновоз моделі 19-7053-02



Найменування	Модель 19-7053-02
Вантажопідйомність	70,2 т
об'єм кузова	116 м ³
маса вагона	23,5 т
Розрахункове навантаження від кол. пари на рейку	230,5 (23,5) кН (тс)
Кількість люків:	
завантажувальних	5 шт.
розвантажувальних	3 шт.
Ширина колії	1520 мм
Конструкційна швидкість	120 км/год
База вагона	10500 мм
Довжина по осях зчеплення	14720 мм
Строк служби	30 років

Зерновоз моделі 19-4109-01



Найменування	Модель 19-4109-01
Вантажопідйомність	70,3
об'єм кузова	94 м ³
маса вагона	23,5 т
Розрахункове навантаження від кол. пари на рейку	230,5 (23,5) кН (тс)
Кількість люків:	
завантажувальних	4 шт.
розвантажувальних	6 шт.
Ширина колії	1520 мм
Конструкційна швидкість	120 км/год
База вагона	10500 мм
Довжина по осях зчеплення	14720 мм
Строк служби	30 років

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кінець таблиці А.1

Зерновоз моделі 19-970-01



Найменування	Модель 19-970-01
Вантажопідйомність	70,5
об'єм кузова	110 м ³
маса вагона	23,5 т
Розрахункове навантаження від кол. пари на рейку	230,5 (23,5) кН (тс)
Кількість люків:	
завантажувальних	4 шт.
розвантажувальних	6 шт.
Ширина колії	1520 мм
Конструкційна швидкість	120 км/год
База вагона	10500 мм
Довжина по осях зчеплення	14720 мм
Строк служби	30 років

Зерновоз моделі 19-6869



Найменування	Модель 19-6869
Вантажопідйомність	70,5
об'єм кузова	120 м ³
маса вагона	23,5 т
Розрахункове навантаження від кол. пари на рейку	230,5 (23,5) кН (тс)
Кількість люків:	
завантажувальних	5 шт.
розвантажувальних	6 шт.
Ширина колії	1520 мм
Конструкційна швидкість	120 км/год
База вагона	10500 мм
Довжина по осях зчеплення	14720 мм
Строк служби	30 років